DISPERSION ET MIGRATION DE MINÉRAUX ARGILEUX DANS LES PODZOLS

CONTRIBUTION DES COMPOSÉS ORGANIQUES ASSOCIÉS, LEUR ROLE SUR LES FORMES ET L'ÉTAT DE L'ALUMINIUM

B. GUILLET. J. ROUILLER et J. C. VEDY*

RESUME. – Dans les horizons B_h des podzols développés sur grès vosgiens, des accumulations d'argile laissent supposer que podzolisation et migration particulaire sont des processus simultanés.

Les expériences de lysimétrie sur le terrain apportent la preuve de l'actualité des deux processus : dispersion et migration d'argiles fines (smectites de dégradation) transférées dans les eaux de gravité vers les horizons spodiques, aucune migration particulaire dans le sol brunifié acide.

Comme on admet couramment que les ions alumineux exercent un effet floculant, les auteurs étudient :

1) les rapports existant entre l'aluminium cationique (Al^{3+} échangeable par une solution KCl N) et l'aluminium amorphe (extrait par le tampon oxalique-NH_4 oxalate, pH 3,2) en fonction de l'acidité des sols témoins et des suspensions organo-minérales migrant dans les horizons A_2 du podzol.
2) La composition élémentaire des eaux de gravité.

Les résultats montrent :

1) Dans le sol brunifié : la prédominance de Al amorphe maintient agrégés les minéraux argileux. En outre, les eaux de gravité se comportent comme des solutions salines d'électrolytes floculants. Les migrations sont bloquées.
2) Dans le podzol : l'acidité créé par la dissociation des groupements COOH des matières organiques conduit à une stricte équivalence des ions simples et des polymères amorphes d'aluminium.

Al^{3+} du complexe absorbant des suspensions organo-argileuses est en partie complexé par les ligands organiques. Comme il en est de même de l'aluminium des eaux de gravité, les concentrations ioniques des solutions sont insuffisantes pour floculer les particules minérales peptisées par la fixation d'une abondante quantité de composés organiques acides (30 % en poids).

SUMMARY. – In the B_h horizons of podzols developed on the vosgian sandstones, clay accumulations can be interpretated as a result of simultaneous podzolization and clay illuviation.

Field experiments by lysimeters do verify the present reality of the two processes : dispersion and migration of fine clay minerals (smectites of degradation) translocated with percolating waters downward the spodic horizons, no clay particle migration in the acid brunified soil.

As it is generally admitted that aluminous ions act as floculating cations, the authors study :

1) The relation between the cationic aluminium (Al^{3+} exchangeable by KCl N) and the amorphous aluminium (extracted by oxalic ac.-NH_4 oxalate buffered pH 3.2) as a function of the acidity of the soils and of the migrating organomineral suspensions.
2) The elemental composition of the percolating soil waters.

Results show :

1) For the brunified soil : the large predominance of the amorphous aluminium contributes to the clay particle aggregation. On the other hand, the percolating waters act as salt solutions of floculating electrolytes. Both factors inhibit the clay migration.
2) For the podzol : the acidity generated by the COOH group dissociation of the organic matters leads to the equivalence of the monomeric ions and amorphous polymers of alumina.

Al^{3+} of the exchange capacity of the organo-clay suspension is, by part, complexed by organic ligands. As it is the same thing for water soluble percolating aluminium, the ionic concentrations of the natural solutions are too low for having floculating effect on the mineral particles that are peptized by the fixation of a great deal of acid organic compounds (30 % in weight).

ZUSAMMENFASSUNG. – An Hand von Ton-Ausammlungen in den B_h-Horizonten der auf vogesischem Sandstein entwickelten Podsolen besteht Grund zu der Annahme, dass Podzolierung und Wanderung von Bodenteilchen zugleich vorkommen.

Auf dem Feld durchgeführte Experiment mit Lysimetern bestägtigen diese Annahme : in den Podsolen geschiet eine Zerstreuung und eine Wanderung feiner Tonteilchen (Smektite) die von den Gravitätswässern in den B_h-Horizont geschwämmt werden ; in den Braunerden dagegen geschiet kein derartiges Vorgang.

(*) C.N.R.S. Centre de Pédologie Biologique. B.P. 5, 54500 Vandœuvre-les-Nancy.

Da gewöhnlich angenommen wird dass Aluminium die Flockung bewirkt, beschäftigten sich die Autoren mit folgendem :
1) Die von der Bodensäure, und der durch den A_2-Horizont wandernden organisch-mineralogischen Verbindungen abhängigen Zusammenhänge zwischen kationischem Al (durch eine molare KCl-lösung auswed selbares Al^{3+}) und amorphen Al (in oxalsäure-NH_4 Oxalat pH 3,2 löslich).
2) Die elementare Zusammensetzung der Gravitätswasser.

Die Ergebnisse zeigen volgendes :
1) In Braunerde : Die Tonmineral-Agregate werden durch das vorherrsdende amorphe Al befestigt. Die Gravitätswässer betragen sich wie Lösungen von flockierenden Elektrolyten. Die Wanderungen sind blockiert.
2) Im Podsol : Die durch Dissoziation von organischen COOH-Gruppen bewirkte Säure führt zu einer Gleichung der einfachen Ionen und der amorphen Aluminium-Verbindungen.

Das Al^{3+} des absorbierenden Komplexes der organo-Ton-Aufschlemmungen wird teiweise durch die organischen Stoffe Komplexiert, wie auch das Aluminium der Gravitätswässer : die ionische Konzentrationen der Lösungen sind zu schwach um die durch Fixierung einer grossen Mänge von sauren organischen Stoffen peptisierten mineralischen Teilchen zur Flockung zubringen.

INTRODUCTION

Grand nombre de podzols développés sur les versants de grès des Vosges présentent au sommet des horizons spodiques des accumulations argileuses qui nous sont apparues être contemporaines du processus de différenciation morphologique des podzols (Guillet *et al.*, 1975).

Les expériences de lysimétrie sur le terrain témoignent de la validité de l'hypothèse formulée : *des suspensions organo-argileuses, parfaitement stables, sont recueillies avec les eaux de gravité percolant les horizons* A_2 *des podzols.* Elles sont inexistantes dans le sol brun acide (Guillet *et al.*, 1979).

L'hypothèse, peu classique, de la simultanéité des processus de podzolisation et de transfert d'argile, *a posteriori* démontrée, se heurte toutefois au postulat selon lequel en pédogenèse acide, les ions alumineux floculants s'opposent à la dispersion des particules argileuses.

Cette note met l'accent sur les formes de l'aluminium, cationiques et amorphes, qui interviennent en proportions différentes dans les équilibres sol-solution des deux principaux types de sols étudiés : sol brun et podzol. Elle précise dans quelle mesure l'acidité du milieu et le pouvoir complexant des composés organiques modifient l'activité des ions alumineux en solution ou échangeables. Elle envisage plus particulièrement l'incidence des interactions organo-minérales sur la mobilité des migrations des particules argileuses en milieu acide.

DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Les expériences lysimétriques se rapportent à deux écosystèmes (Vedy *et al.*, 1977 ; Vedy *et al.*, 1978) de l'étage montagnard moyen des Vosges (Pluviométrie 1100 mm ; Température moyenne : max. 16°, min. 3°) :
1) Ecosystème sol brun acide : sapinière à *Festuca silvatica* sur grès triasique supérieur (Station de Housseras) ;
2) Ecosystème podzol humoferrugineux : pineraie à *Calluna vulgaris* sur colluvium de grès triasique moyen (Station de Biffontaine).

Les lysimètres, installés en 1975, consistent en cuves cylindriques de 1 m de diamètre enveloppant les horizons A_1(0-18 cm) et $A_2(B)$ (18-40 cm) du sol brun acide, les horizons A_0A_1 (0-20 cm) et A_2 (20-60 cm) du podzol. Les solutions sont recueillies à la base de l'horizon $A_1(B)$ du sol brun acide et de l'horizon A_2 du podzol.

METHODES

1. Séparation suspension-eaux de gravité

Les suspensions ont été séparées des eaux de gravité par ultracentrifugation en continu à 45000 tr/mn, et pesées après lyophilisation.

Les solutions ont été filtrées sous pression d'azote sur filtre millipore 0,45 μ.

2. Traitement des eaux de gravité

Le dosage des éléments métalliques et du carbone organique a été effectué avant et après traitement par les résines cationiques H^+ (Amberlite IR 120). Les éléments complexés par la matière organique demeurent en solution. Cette technique constitue un moyen d'apprécier la stabilité des complexes organo-métalliques des solutions.

3. Analyse des sols et suspensions

Le carbone organique des sols et suspensions a été dosé au Carmhograph Wosthoff, l'azote par dosage au Kjeldahl.

Le taux de saturation S/T des sols et suspensions a été déterminé à l'aide d'une solution KCl ou NH_4Cl N non tamponnée : S correspond à la somme (m.e./100 g) des cations basiques échangés (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, K^+) et $T = S + H^+ + Al^{3+}$ (Guillemin *et al.*, 1978).

Les protons échangeables H^+ (m.e./100 g) sont dosés par titration potentiométrique de la solution d'échange avec NaOH N/100. Le pouvoir tampon minimum de la solution, à pH 4,2-4,5 correspond au point d'équivalence des protons (Espiau et Peyronel, 1976 ; Rouiller *et al.*, 1979). Al^{3+} est déterminé par dosage chimique (absorption atomique) et titration potentiométrique des charges entre pH 4,2 et 6,2-6,4. La comparaison des données chimiques et potentiométriques permet de préciser la valence des ions aluminium échangeable V = (m.e./100g titration potentiométrique/m.e./100g dosage chimique) x 3.

En dehors de Al échangeable, déplacé par K^+ de la solution KCl N (5 g sol/100 cc KCl N – 100 mg suspension/50 cc – agitation 1 heure), l'aluminium polymérisé et amorphe correspond aux extractions par le tampon oxalique – oxalate NH_4 à pH 3,2, faites sur prises d'échantillons indépendantes (2 g sol/80 ml ou 100 mg suspension/50 ml – agitation 4 heures à l'obscurité). On considère en fait que l'aluminium ainsi extrait est la somme de l'aluminium échangeable et des polymères et gels amorphes.

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS

Seules seront présentées celles correspondant aux horizons inclus dans les lysimètres (Tableau I).

Les plus fortes teneurs en argiles, le pH plus élevé et les moindres quantités de carbone opposent le sol brunifié au sol podzolisé, le C/N plus bas du sol brun acide reflète la meilleure activité biologique des humus de type mull.

Dans les deux sols acides, le complexe absorbant déterminé au pH des sols est désaturé si l'on se réfère à la classification de Penel (1979) : $100\ S/T < 20$.

Le contraste entre les deux sols apparaît au niveau des rapports Al^{3+}/T et H^+/T (Figure 1). La contribution plus élevée des protons échangeables dans le cortège cationique du complexe absorbant illustre bien la plus forte acidité d'origine organique des podzols.

Le rapport Al^{3+}/Al amorphe met l'accent sur la prépondérance des formes amorphes de l'aluminium dans le sol brunifié. Si l'on se refère aux expériences d'El Swaify et Emerson (1975), de Schwertmann (1969), *les hydroxopolymères et les gels amorphes sont de puissants agents d'agrégation* qui s'opposent à la dispersion des particules, comme nous avons pu le vérifier en pratiquant des tests de dispersion inspirés des méthodes de Gombeer et d'Hoore (Guillet *et al.*, 1979).

En contrepartie, les plus faibles quantités d'Al amorphe des horizons éluviaux de podzol, les hautes valeurs de Al^{3+}/Al amorphe sont des paramètres qui, joints à l'acidité du milieu, influent sur la mobilité des particules minérales.

CHIMIE DES EAUX DE GRAVITE

Nous limiterons nos objectifs aux aspects qualitatifs en choisissant une période de collecte des eaux de gravité du 15 au 19 octobre 1978. Durant ce court épisode, la pluviométrie sur les deux stations voisines est comparable, les volumes recueillis sensiblement identiques (9,2 l pour le podzol, 9,4 l pour le sol brun acide) reflètent un même drainage profond.

TABLEAU I

Caractéristiques chimiques et physiques des sols

	Hor.	pH_{eau}	KCl pH	C %	C/N	Argile %	m.e./100 g			
							S	Al^{3+}	H^+	T
Sol brun acide	A_1	4,60	4,15	1,5	15	7,3	0,52	1,77	0,29	2,58
	A_1 (B)	4,70	4,30	0,7	14	10,1	0,31	1,33	0,16	1,80
Podzol	A_1	3,80	3,40	6	30	1,9	0,25	0,75	0,73	1,73
	A_2	4,15	3,90	0,3	14	1,4	0,14	0,44	0,17	0,75

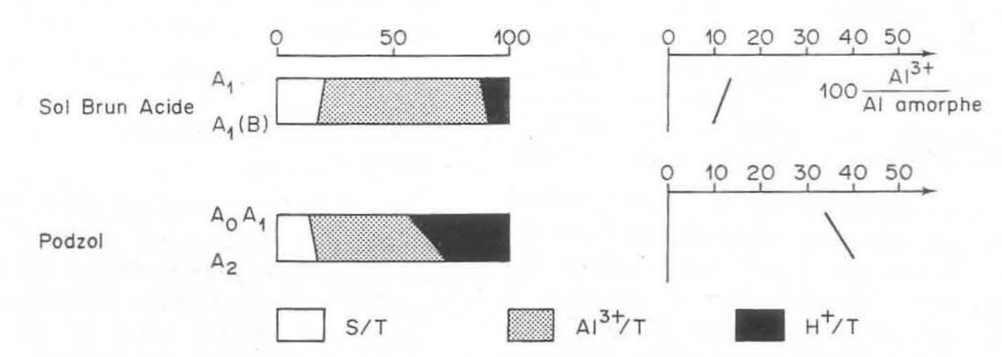


Figure 1. – Composition du complexe d'échange au pH du sol. Rapports Al^{3+}/Al amorphe du complexe d'altération.

TABLEAU II

Composition élémentaire des eaux de gravité

	pH	C org. mg/1	mmol/litre						
			H_4SiO_4	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
Sol brun acide	4,03	5	0,14	0,2	tr.	0,04	0,34	n.d.	0,11
Podzol	3,75	62	0,12	0,13	0,05	0,01	0,02	0,04	0,09

Rappelons que les eaux de gravité du sol brun acide sont exemptes *de particules minérales* alors que *des concentrations de 70,7 mg/1* sont dans le même temps recueillies dans les *solutions du podzol.*

Les résultats analytiques sont reportés au tableau II. A l'exclusion du fer la solution du sol brun acide est plus chargée en éléments que celle du podzol. Les concentrations en Ca (0,34 mmol/1 soit 13,6 mg/1) et en Al (5,4 mg/1) y sont particulièrement élevées.

Les eaux de gravité du podzol sont, à l'opposé, très enrichies en *composés organiques solubles.* Ceux-ci complexent le tiers de l'aluminium et près de la moitié du fer en solution (Tableau III).

TABLEAU III

Elément complexé en % de l'élément en solution dans les eaux de gravité

	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K
Sol brun acide	1	–	3,5	0	–	0
Podzol	33	46	10	17	0	0

Comme il est remarquable d'observer dans le sol brun acide, l'absence quasi totale de complexes organo-métalliques les solutions se comportent comme des solutions salines d'électrolyte. Il est aisé, comme l'a fait Gury (1976) de montrer que l'aluminium, aux concentrations analysées dans la solution du sol, exerce pleinement le rôle de *cation floculant* que l'on reconnaît habituellement aux solutions de sel d'aluminium (Van Olphen, 1963).

Pour le podzol, la complexation organique abaisse l'activité ionique des cations. Apparemment, les cations trivalents et divalents sont en trop faibles concentrations pour floculer les particules dispersées.

MATIERES EN SUSPENSION

1. Composition et propriétés

La matière organique constitue environ 30 % du poids des suspensions, valeurs parfois dépassées en d'autres périodes, mais dont le *C/N* fluctue peu (16 à 19).

La capacité d'échange cationique totale correspond à 135 m.e./100 g. Après oxydation des composés organiques, la CEC des minéraux argileux tombe à 60 mse./100 g.

Au plan granulométrique, les particules sont majoritairement de petite taille ($< 0,2\ \mu$). Minéralogiquement, il s'agit d'une population complexe à comportement d'interstratifiés (10 I – 14 Sm) à l'état naturel et après traitement désaluminisant (Figure 2). Ce n'est qu'après

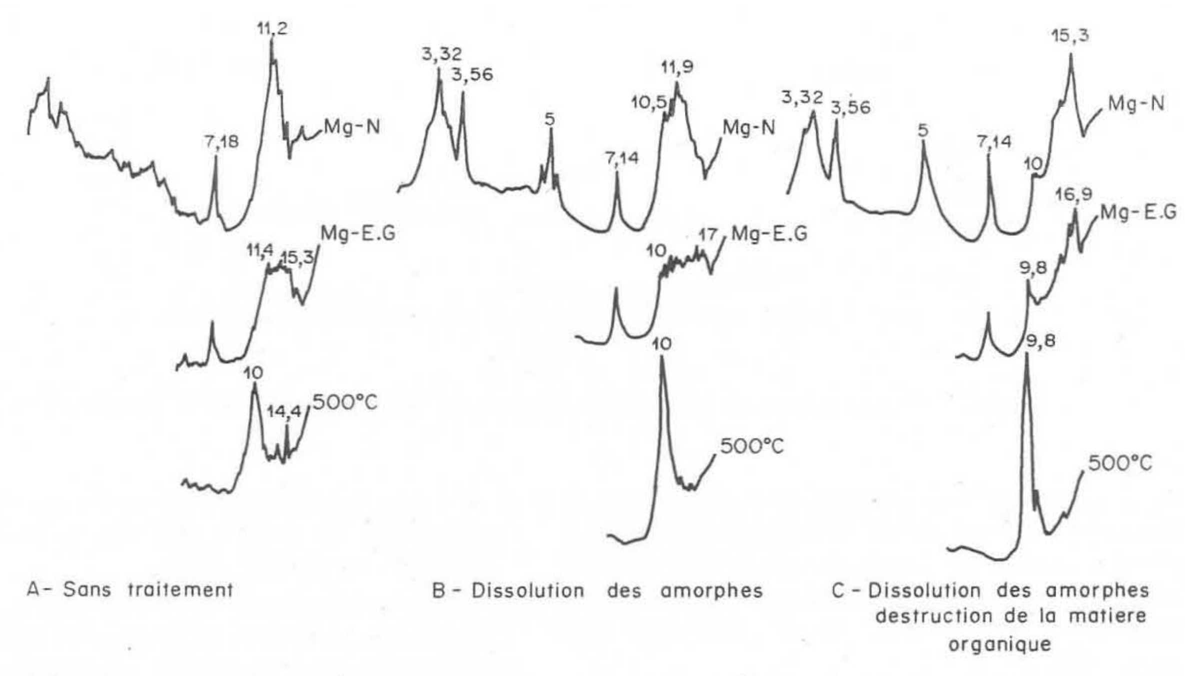


Figure 2. – Diffractogrammes X des matières en suspension dans les eaux de gravité de l'horizon A_2 de podzol. (Saturation Mg – E.G. : Ethylèneglycol – Dissolution des amorphes par le tampon oxalique-oxalate NH_4).

dissolution des amorphes et oxydation de la matière organique, que la majorité des édifices acquièrent le caractère des smectites de dégradation (Schwertmann, 1962 ; Robert et Barshad, 1972 ; Souchier et Lelong, 1974) dérivant d'illites dioctaédriques. De tels comportements évoquent des fixations interfoliaires de certains composés organiques, notamment d'acides aminés (Sieskind, 1962) et rappellent les expériences d'intercalation interfoliaire d'acides fulviques réalisées par Moinereau (1977).

Bien que l'on ne connaisse pas les mécanismes précis qui conduisent à la fixation d'une aussi grande quantité de composés organiques, on peut en interpréter les effets. *Ces composés jouent à l'égard des minéraux argileux un rôle actif d'agent peptisant*, rendant plus négative encore la charge de l'association organo-argileuse. Ce faisant, elle facilite leur dispersion.

4. Complexe absorbant. Etat de l'aluminium

Le cortège cationique prend la composition indiquée sur le tableau IV. Le taux de saturation en cations basiques diffère peu de celui de l'horizon A_2 : $100\ S/T = 21$. L'aluminium échangeable domine sur les protons : $100\ Al^{3+}/T = 67$ et $100\ H^+/T = 12$.

Fait remarquable, vu le rapport $100\ Al^{3+}/Al$ amorphe $= 49$, *l'aluminium échangeable et l'aluminium polymérisé amorphe sont en quantité quasi équivalente.*

Très instructive est la titration potentiométrique d'une aliquote précise (25 ml) de la solution d'échange KCl dont la concentration en Al (considéré échangeable) est de 0,29 mmol/1 soit 0,87 m.e./1 si Al^{3+}. L'enregistrement en dérivée $dpH/dv\ f\ (v)$ conduit (Figure 3) au dosage des H^+ (8 m.e./100 g : cf. Tableau IV)

TABLEAU IV

Eléments échangeables (solution KCl N) et extractibles (tampon oxalique – oxalates NH_4 pH 3,2) des suspensions organo-argileuses

	Si ‰	Al^{3+}		H^+ ‰	Fe^{2+}		m.e./100 g				C org. % de C tot.
		me/100 g	‰		me/100 g	‰	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	
Echangeables KCl N	tr	44,4	4	8	2	0,55	6	2,5	4,1*	1,3	15
Extractibles Tampon oxal.	3		8,1			6,35			7,1		

* Déterminé avec NH_4Cl N

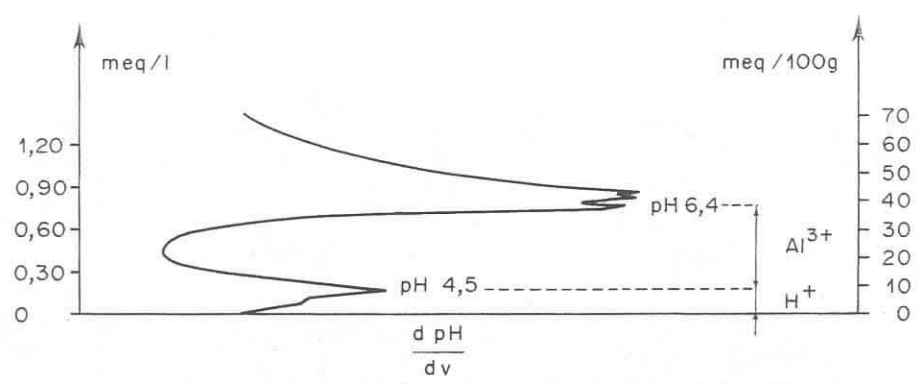


Figure 3. – Titration potentiomètrique en dérivée des ions acides échangeables ($H^+ - Al^{3+}$). pH initial : 3,87.

et à la mesure des charges de l'aluminium en solution. Cette mesure s'effectuant entre pH 4,5 et 6,4 permet de constater qu'au lieu de 44,4 m.e./100 g d'Al^{3+} déterminés par dosage chimique (cf. Tableau IV), on ne titre que 30,4 m.e./100 g.

Le calcul conduit à la conclusion que Al échangeable se présente avec la valence 2,05. Un tiers de Al échangeable, ou encore une valence sur trois, échappe à la titration parce que complexée par liaison covalente aux ligands organiques, comme le laisse supposer le dosage du carbone de la solution KCl d'échange (Tableau IV).

Ainsi, non seulement la quantité Al amorphe est restreinte, mais, comme dans les solutions avec lesquelles les particules sont en suspensions stables, *l'aluminium absorbé sur le complexe d'échange est pour une part notable (1/3) complexé par des composés organiques.*

Reconnaissons *a posteriori* qu'il s'agit là de paramètres fondamentaux capables d'influer considérablement sur les mécanismes de floculation-dispersion des particules argileuses des sols.

DISCUSSIONS – CONCLUSIONS

Dans les sols brunifiés acides, au complexe absorbant désaturé, *deux facteurs cumulent leurs effets pour empêcher la dispersion des particules argileuses et leur migration.*

La première, essentielle, est *la large prépondérance de l'aluminium amorphe sur les formes cationiques de l'aluminium* (Al^{3+}). L'Al amorphe, mais aussi les oxyhydroxydes de fer, formant, d'après El Swaify et Emerson (1975) de très fins coatings autour des minéraux argileux et les englobant, est certainement responsable de *l'état agrégé* que l'on reconnaît aux microstructures en pellets des sols brunifiés acides (Bruckert et Selino, 1978).

Le second facteur, qui s'oppose à la migration, résulte de *la charge cationique et de la composition des eaux de gravité* capables de les transférer. Acides (pH $\simeq$ 4), mais peu chargées en composés organiques, essentiellement composées de sels minéraux solubles où dominent NO_3^-, Al^{3+} et Ca^{2+} (Bartoli *et al.*, 1980), les *eaux de gravité se comportent comme des solutions d'électrolytes suffisamment concentrées pour floculer les particules argileuses.*

Dans le podzols, la migration de particules minérales est fortement influencée par la matière organique originaire des humus de type mor.

Acide, elle engage la dépolymérisation de l'Al amorphe vers des formes *monomères* selon une réaction simplificatrice :

$$nH^+ + Al_x\,(OH)_n^{3x-n} \rightleftarrows x\,Al^{3+} + H_2O.$$

Hydroxypolymères et gels amorphes ne sont plus en mesure de jouer le rôle d'agent agrégeant.

Fixée en abondance sur les particules fines, elle est capable d'agir comme *agent peptisant*, augmentant les charges négatives de l'association organo-argileuse, ce qui rend plus aisée leur répulsion électrostatique.

Soluble et complexante, elle abaisse l'activité ionique des ions simples alumineux susceptible d'exercer dans les eaux de gravité l'action floculante reconnue dans les sols brunifiés. Dans ces conditions, les cations bivalents et monovalents sont en trop faible concentration pour floculer les associations organo-argileuses dispersées.

En conclusion, *la migration de particules minérales* dans les sols acides (pH $<$ 5) est réglée par *l'activité biologique des sols.*

En milieux biologiquement actifs, favorisés par les matériaux bien pourvus en minéraux altérables, les composés organiques sont rapidement

biodégradés et insolubilisés dans les horizons superficiels (Bruckert, 1970). Les polymères ferriques et alumineux associés aux polycondensats humiques maintiennent agrégés et floculés les minéraux argileux. Les migrations à l'état particulaire sont bloquées.

Par contre, en milieu podzolique biologiquement peu actif, les composés organiques acides sont les vecteurs du transfert des produits de l'altération biochimique. Ces transfert s'effectuent, non seulement à l'état de complexes solubles (processus de podzolisation *sensu stricto*) mais également à l'état de suspension d'argiles fines dispersées en raison de leur charge négative.

BIBLIOGRAPHIE

BARTOLI (F.), VEDY (J.Cl.) et TARDY (Y.), 1980 – Equilibres thermodynamiques, altération des minéraux silico-alumineux et cycles biogéochimiques du silicium et de l'aluminium dans deux sols tempérés acides. *Géochimica et Cosmochimica Acta*, à paraître.

BRUCKERT (S.), 1970 – Influence des composés organiques solubles sur la pédogenèse en milieu acide. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I. *Ann. Agron.* **21** (4), 421-452 et **21** (6), 725-757.

BRUCKERT (S.) et SELINO (D.), 1978 – Mise en évidence de l'origine biologique ou chimique des structures microagrégées foisonnantes des sols bruns ocreux. *Pédologie. Gand, XXVIII* (1), 46-59.

El-SWAIFY (S.A) et EMERSON (W.W.), 1975 – Changes in the physical properties of soil clays due to precipitated aluminum and iron hydroxydes : I. Swelling and aggregate stability after drying. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 39 (6), 1056-1063.

ESPIAU (P.) et PEYRONEL (A.), 1976 – L'acidité d'échange dans les sols. Méthode de détermination de l'aluminium échangeable et des protons échangeables. *Bull. A.F.E.S. Sciences du sol*, 3, 161-176.

GUILLEMIN (Martine), ROUILLER (J.) et BRUCKERT (S.), 1978 – Relations entre groupes écologiques et propriétés physico-chimiques des sols brunifiés des Vosges cristallines. *Ann. Sci. Forest.*, **35** (2), 139-150.

GUILLET (B.), ROUILLER (J.) et SOUCHIER (B.), 1975 – Podzolization and clay migration in spodosols of Eastern France. *Geoderma*, **14** (3), 223-245.

GUILLET (B.), VEDY (J.C.), ROUILLET (J.) et SOUCHIER (B.), 1979 – Migrations de particules argileuses dans les milieux de géochimie organique très acide. Exemple des podzols sur colluvium de grès vosgien. *Sciences géol.* (sous presses).

GURY (M.), 1976 – Evolution des sols en milieu acide et hydromorphe sur terrasses alluviales de la Meurthe. Thèse Doct. Spéc., Univ. Nancy I, 100 p.

MOINEREAU (J.), 1977 – Absorption de composés humiques par une montmorillonite H – Al^{+++}. Présence de smectites à couches interfoliaires organo-minérales dans les andosols. *Clay Miner.*, 12, 75-82.

PENEL (Martine), 1979 – Caractérisation physico-chimique et classification des humus forestiers acides en relation avec la végétation et ses exigences écologiques. Thèse Doct. Spéc., Univ. Nancy I, 112 p.

ROBERT (M.) et BARSHAD (I.), 1972 – Transformation expérimentale des micas en vermiculites ou smectites. Propriétés des smectites de dégradation. *Bull. Gr. Fr. Argiles, XXIV* (2), 137-151.

ROUILLER (J.), PHILIPPY (Renée), BARTOLI (F.) et GUILLET (B.), 1979 – Acidité dans les sols. Titration potentiométrique. Note technique C.P.B. n° 26,17 p.

SCHWERTMANN (U.), 1962 – Eigenschaften und Bildung aufweitbarer (quellbarer) Dreischicht-Tonminerale in Böden aus Sedimenten. *Beitr. Miner. Petrogr.*, 8, 199-209.

SCHWERTMANN (U.), 1969 – Aggregation of aged hydrogen clays. *In* : Proc. Intern. Clay Conf. Tokyo, 1, 683-690.

SIESKIND (O.), 1962 – Contribution à l'étude des interactions argile-matière organique : adsorption des acides aminés par la montmorillonite. *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, **22**, 90 p.

SOUCHIER (B.) et LELONG (F.), 1974 – Nature et genèse des argiles dans les profils vosgiens de la séquence sols bruns acides-podzols sur granite. *Science de la Terre* Nancy, **16** (3), 317-349.

Van OLPHEN (H.), 1963 – An introduction to clay colloïd chemistry. J. Wiley & Sons, New-York, London, 301 p.

VEDY (J.C.), LE TACON (Françoise) et BRUCKERT (S.), 1977 – Formes de transfert des éléments métalliques par les solutions du sol dans deux écosystèmes forestiers sur grès triasique de l'Est de la France. *In* : Proc. Symp. on "Soil as a site index for forests of temperate and cool zones", Zvolen, 1, 32-41.

VEDY (J.C.), ROUILLER (J.) et MERLET (D.), 1978 – Les solutions du sol dans deux écosystèmes des Basses-Vosges gréseuses triasiques. Coll. C.N.R.S., A.T.P. Hydrogéologie, Montpellier.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement Renée PHILIPPY, Michel DOIRISSE et Denis MERLET pour leur aide technique.

DISCUSSION

M. ROBERT : L'horizon A_2 des podzols fonctionne en conditions de désaluminisation, ce qui explique l'absence d'aluminium amorphe, cependant il reste effectivement de l'aluminium Al^{+++} sur le complexe d'échange qui a des propriétés floculantes. Sur ce complexe d'échange les ions H^+ sont cependant en quantité suffisante, s'ils sont présents sur l'argile, pour provoquer la dispersion.

Le rôle dans la dispersion appartient-il à ces protons ou à la matière organique qui, en se fixant sur Al^{+++}, peut modifier les propriétés de l'argile ?

B. GUILLET : Les protons ne prennent une part importante dans la garniture cationique qu'en raison de l'abondance des composés organiques associés aux minéraux argileux. Je rappelle que la fraction minérale représente 60 à 70 % et la fraction organique, le complément soit 30 à 40 %. La fixation de cette matière organique joue à l'égard des minéraux argileux le rôle d'agent peptisant ce qui revient à augmenter les charges négatives.

Cette action peptisante est importante mais n'est pas seule en cause. La charge cationique des solutions d'équilibre – les eaux de gravité – et la nature des cations, trivalents (Al^{+++}) di- ou monovalents doivent être pris en considération. Accompagnant les suspensions des A_2, les concentrations de Al^{+++} des eaux de gravité sont faibles et qui plus est, l'aluminium en solution est en partie complexée par les composés organiques solubles : les conditions de dispersions sont, a posteriori, bonnes.

F. DE CONINCK : Comment est mise en évidence l'accumulation de l'argile dans l'horizon spodique B_h ? Il est possible que des amorphes alumino-silicatés se forment au moment où la matière organique est détruite.

B. GUILLET : La granulométrie des sols, et par conséquent des horizons B_h, est effectuée après les opérations successives suivantes : dissolution des amorphes Al, Fe, Si par traitement au tampon oxalique-oxalate à pH3, destruction par oxydation de la matière organique par l'hypochlorite Na et lavage acide à pH3 contrôlé. Les éléments amorphes mais non pas les oxyhydroxydes de fer sont donc en préalable éliminés.

Ph. DUCHAUFOUR : Le raisonnement effectué par M. Guillet, en se basant exclusivement sur l'action des ions hydroxyalumineux, ou Al^{+++} est transposable au fer.

Les auteurs ne pensent-ils pas que les hydroxydes de fer jouent un grand rôle pour la fixation des argiles dans les agrégats des sols bruns acides en neutralisant les charges d'une part, en formant des agrégats argile-fer-humine d'autre part. Dans les podzols, ce rôle n'existe plus car le fer actif est complexé et éliminé des horizons supérieurs ?

B. GUILLET : Oui, on peut considérer que dans les sols brunifiés, les hydroxydes de fer jouent un rôle tout à fait identique aux polymères d'aluminium dans le maintien des structures agrégées. Evidemment, cet effet disparaît dans les horizons éluviaux des podzols.

A. RUELLAN : Il y a des migrations d'argile dans de nombreux sols bruns acides. De même, il y a des migrations d'argile dans les sols calcaires. Ceci veut dire que la dispersion de l'argile n'est pas une nécessité pour la migration ; en fonction des conditions de porosité les conditions nécessaires aux migrations d'argile changent.

M. SCHNITZER : Can one explain the migration of clay in podzol soils by assuming that the organic matter dissolves the "old" clay near the surface, bringing not only Al but also Fe, Si, Mg, etc. . . into solution, once the elements are in solution, they recombine and crystallize as "new" clay minerals.

B. GUILLET : Je ne crois pas du tout à cette hypothèse parce que les argiles accumulées en B_h sont des minéraux 2/1 de même composition que les smectites fines des horizons A_2. Il serait dangereux d'évoquer des néosynthèses de telles argiles. N'est-ce pas plus simple, et les faits le prouvent, de tenir compte d'un transfert vertical de particules.

Par contre, en B_s, il est vrai que dans le podzol étudié, se forment des alumino-silicates amorphes, solubilisables dans le tampon oxalique-oxalate NH_4. F. Bartoli évoquera ces néoformations d'allophanes ou assimilés dans sa communication.